

doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2012.03.010

# 发动机壳体噪声辐射控制研究

熊勇刚, 李 顺, 夏天军, 陈科良, 吴吉平, 杜民献

(湖南工业大学 机械工程学院, 湖南 株洲 412007)

**摘要:** 为降低摩托车发动机辐射噪声, 以某摩托发动机壳体为研究对象, 采用有限元法/边界元法(FEM/BEM), 对发动机壳体的辐射噪声进行仿真计算, 确定了辐射噪声的频带和辐射位置, 结合声强实验测试, 验证了数值计算的正确性。根据数值模拟的结果, 对该发动机壳体结构进行优化, 并对优化后的壳体进行了噪声辐射预测, 将优化前后的声学量进行对比。结果表明: 优化后的发动机壳体表面辐射噪声较优化前有所降低, 其噪声值降低约4 dB。

**关键词:** FEM/BEM; 发动机; 噪声预测; 噪声控制

**中图分类号:** TB535

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1673-9833(2012)03-0044-04

## Study on Controlling Noises Radiated from Engine Shell

Xiong Yonggang, Li Shun, Xia Tianjun, Chen Keliang, Wu Jiping, Du Minxian

(School of Mechanical Engineering, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China)

**Abstract:** With a motorcycle engine shell as the research object, analyzed the noise radiation of the engine shell by means of FEM / BEM, and determined the frequency range of the noise radiation and the critical region. Combining with sound intensity test, verified the correctness of the calculation result. The engine shell structure was optimized according to the numerical simulation results, and the noise radiation of the optimized model was predicted. Comparing the noise test results before and after the optimization, it is obtained that the surface radiated noise of the optimized engine shell is reduced about 4dB.

**Keywords :** FEM/BEM; engine; noise prediction; noise control

## 0 引言

发动机作为飞机、船舶、汽车及摩托车等各种交通工具的心脏, 具有重量轻、热效率高的特点, 给人类带来了极大的方便。随着社会的进步以及人们生活水平的提高, 对发动机噪声控制的要求也随之提高。噪声、振动小, 工作平稳是发动机被市场接受的重要标准<sup>[1]</sup>。摩托车发动机壳体是典型的壳类零件, 其刚度小、质量轻。由于发动机机体的振动

产生噪声, 使其成为发动机辐射噪声的主要零件。因为它是在机体外与空气直接接触, 且没有任何防噪设施, 因此, 对发动机壳类结构进行振动噪声的分析与控制具有重要意义。

以数值模拟为主的 CAD/CAE 分析和以测试为主的实验研究, 已成为目前研究发动机振动和辐射噪声的主要手段。有限元法和边界元法是研究复杂结构声振耦合机理的有效工具<sup>[2]</sup>, 有限元分析软件 ANSYS 与声学分析软件 SYSNOISE 是国际上联合预

收稿日期: 2012-02-08

项目基金: 湖南省自然科学基金资助项目(09JJ6074), 湖南省科技计划基金资助项目(2011FJ3201)

作者简介: 熊勇刚(1966-), 男, 湖南益阳人, 湖南工业大学教授, 博士, 主要从事机械设计和金属成形等方面的研究,

E-mail: xygyxj@163.com

测结构辐射噪声的重要分析软件<sup>[3-4]</sup>。20世纪80年代发展起来的声强测量技术,是研究发动机噪声的主要技术,它受现场环境影响小,能可靠地获取发动机辐射声场特征。本文利用AWA6290声强测量系统对某摩托车发动机进行声场测量,用以验证数值模拟计算结果的有效性。

## 1 有限元模型的建立及模态分析

利用三维建模软件Pro/Engineer建立发动机壳体的实体模型,将实体模型导入有限元前处理软件ANSA中,对模型进行几何清理、材料定义以及网格划分,最终建立起发动机壳体的有限元模型,如图1所示。有限元模型参数如下:采用的单元长度为4 mm,用20节点SOILD186单元对该模型进行网格划分,得到47 164个四面体单元;发动机壳体材料是硬铝合金,其弹性模量 $E=70$  GPa,密度 $\rho=2.76$  g/cm<sup>3</sup>,泊松比 $\mu=0.3$ 。

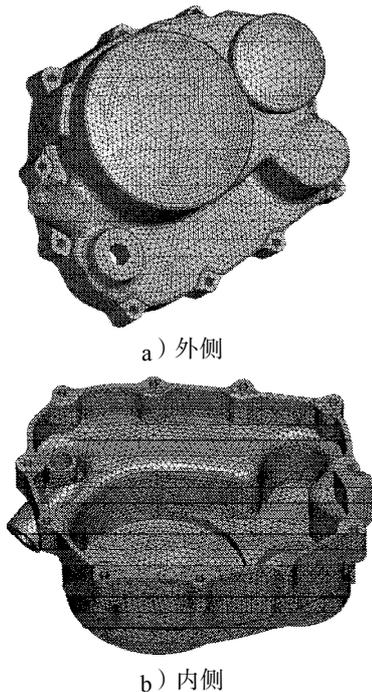


图1 发动机壳体有限元模型

Fig. 1 Finite element model of the engine shell

模态分析在发动机的减振降噪中起重要作用<sup>[5]</sup>,为了设计合理的结构,避开共振频率,需对发动机壳体进行模态分析。本文利用ANSYS对有限元模型进行自由模态求解,得到其前8阶非刚体固有频率如表1所示。

表1 发动机壳体的固有频率

Table 1 The inherent frequency of the engine shell

模态阶数	1	2	3	4	5	6	7	8
频率/Hz	882	1 186	2 105	2 435	2 634	2 808	3 267	3 517

## 2 发动机壳体结构噪声辐射分析

为模拟发动机壳体在实际工况下的噪声辐射,先利用ANSYS对壳体模型进行瞬态分析,其边界激励条件为振动试验得到的螺栓处的加速度信号。将采集的数据保存为带有字符串的二进制文本文件,在ANSYS中以“Array Parameters-Define/Edit”定义表参数,再利用“Array Operations-Read From File”将数据文件读入表中。在加载约束时,分别约束了 $y$ 方向的移动自由度, $x, z$ 方向的转动。图2是振动测试时传感器安装图。

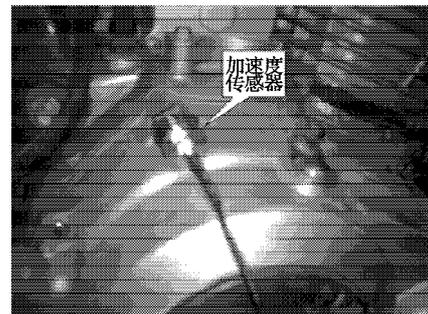


图2 传感器安装图

Fig. 2 Sensor installation

对发动机壳体结构进行瞬态分析后,通过APDL编写有限元谱分析程序,提取壳体结构表面的节点响应数据,作为SYSNOISE计算壳体表面噪声辐射的边界条件,然后建立边界元模型对发动机壳体进行辐射噪声预测。边界元模型所需的只是外包络网格,所以适当修改发动机壳体的三维模型。考虑到发动机壳体的结构尺寸,本文取单元尺寸为6 mm的面单元对实体模型表面进行重新网格划分<sup>[6]</sup>,并在 $y$ 方向建立一个距离壳体最上部18 cm的面场点,用来计算结构在该场点处的外部声场,最终得到发动机壳体的理论分析模型,如图3所示。

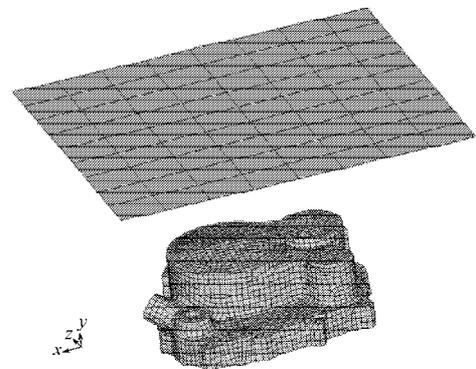


图3 噪声辐射计算的理论分析模型

Fig. 3 The theoretical analysis model for the calculation of noise radiation

将瞬态分析结果中提取的表面节点位移数据导入SYSNOISE中,采用直接边界元法,设置分析类型为BEM-Direct-Collocation-Node-Exterior-Coupled-Unbaffled-Asymptotic-Frequency对发动机壳体进行辐射噪声计算。图4为发动机壳体表面辐射噪声在场点处20~1600 Hz的声压等值线分布图,将其与实验测试的声强云图(图5)作比较。

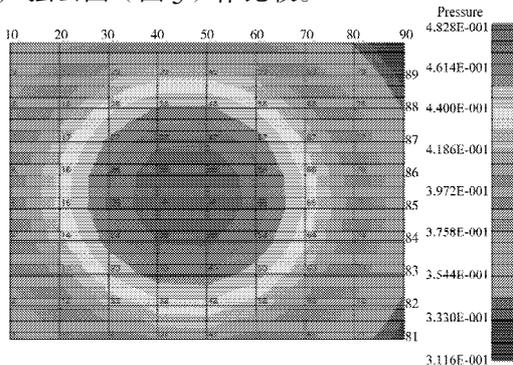


图4 声压等值线分布图

Fig. 4 Distribution map of the sound pressure

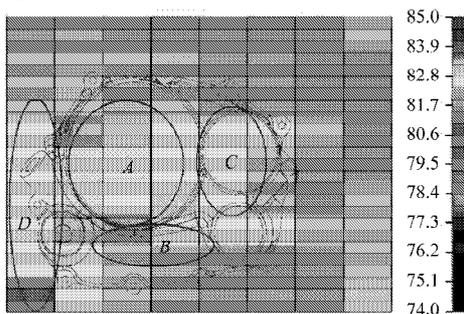
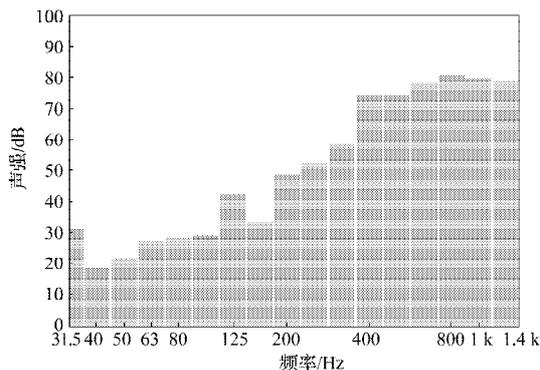


图5 声强云图

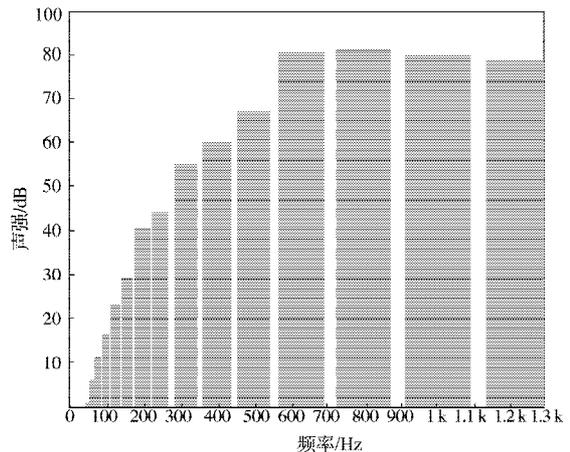
Fig. 5 Distribution map of the sound intensity

比较图4和图5可知,数值模拟结果与试验结果的噪声源分布基本一致。实验测试时,由于受排气管的影响,噪声分布稍向左偏,即D处受排气管辐射噪声的影响。A、B两处辐射噪声较高,其主要原因是该处结构平而薄,在振动作用下容易辐射噪声。

取发动机壳体中心点(P46)处辐射噪声声强实验频谱图与计算频谱图(1/3倍频程)作比较,如图6所示。



a) 实验结果



b) 计算结果

图6 中心点处声强频谱对比

Fig. 6 The contrast of sound intensity spectrum for the center point

从图6中可知,在31.5~400 Hz频段,实验结果与计算结果有些差异,但是其声强值都在60 dB以下;在600~1200 Hz频段,实验与计算的声强值都在80 dB左右。这表明实验结果与计算结果大体一致。

从图4~6的分析可知,利用ANSYS与SYSNOISE联合求解发动机壳体辐射噪声,试验结果与计算结果的等值线分布图基本相似,并且在场点上的声强频谱也较吻合,说明数值模拟较准确。

### 3 发动机壳体的结构优化与声学评比

从图5的分析可知,该发动机壳体噪声辐射源主要在A、B两处。可通过在A处内部增加2 mm的厚度,并改变其内部的结构来提高刚度;在B处添加3条筋来改善结构的振动,从而提高共振频率并降低振动幅值,达到降低噪声的目的。图7为优化后的发动机壳体有限元模型。

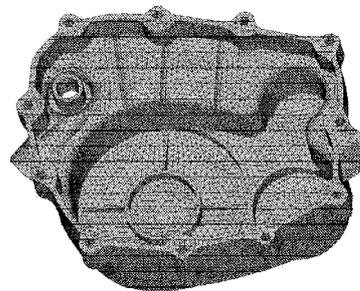


图7 优化后发动机壳体有限元模型

Fig. 7 The finite element model of optimized engine shell

采用与第2节中相同的边界激励条件,运用有限元法与边界元法对优化后的发动机壳体进行动态分析与噪声辐射模拟,得到优化后发动机壳体的固有频率如表2所示。

表2 优化后发动机壳体结构固有频率

Table 2 The inherent frequency for the optimized engine shell

模态阶数	1	2	3	4	5	6	7	8
频率/Hz	1007	1296	2156	2487	2677	2836	3369	3549

将发动机壳体结构优化前后的固有频率进行对比,见图8。

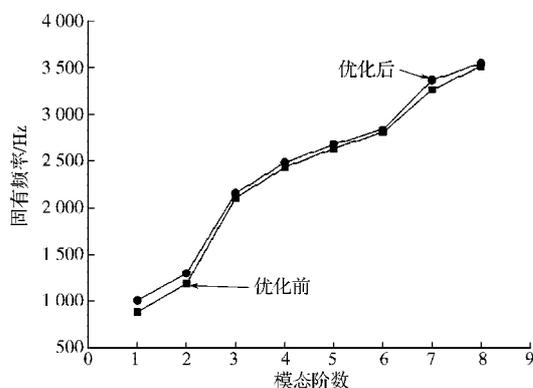


图8 优化前后固有频率比较

Fig. 8 The contrast of inherent frequency before and after optimization

从图8可知,发动机壳体结构经优化后,各阶固有频率都有不同程度的增加,有利于结构避开共振频率。

图9为发动机壳体优化后结构表面声功率级1/3倍频程的对比图。

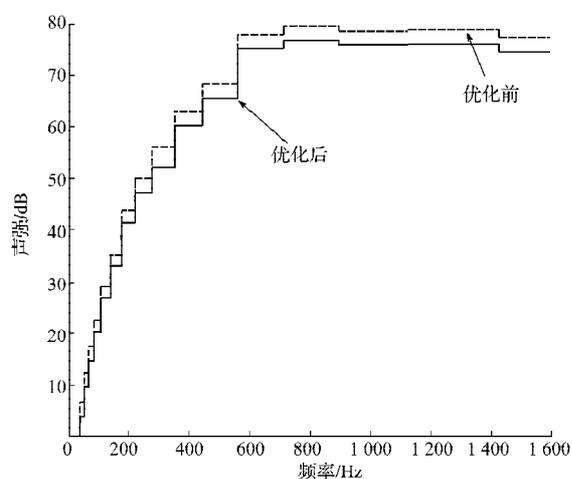


图9 优化前后声功率级对比图(1/3倍频程)

Fig. 9 The contrast of output power before and after optimization

从图9可知,对发动机壳体优化后,在整个频率范围内,声功率级都有所降低,其总声功率级相对优化前降低约4 dB。由此说明,对发动机壳体结构优化后,能有效降低发动机壳体的辐射噪声。

## 4 结语

本文运用有限元法和边界元法对发动机壳体结构表面辐射噪声进行数值仿真分析,并通过声强测试验证了数值模拟结果的正确性。得出了该发动机壳体辐射噪声源的主要位置,以及噪声辐射的主要频率为600~1200 Hz。通过在结构刚度较小的部位增加厚度、加强筋与修改结构的方法对模型进行优化,优化后的发动机壳体表面辐射噪声较优化前有所降低,其噪声强度降低约4 dB。

### 参考文献:

- [1] 梁兴雨. 内燃机噪声控制技术 & 声辐射预测研究[D]. 天津: 天津大学, 2006.  
Liang Xingyu. Research on Noise Control and Prediction of Sound Radiation for I. C. Engines[D]. Tianjin: Tianjin University, 2006.
- [2] 杨德庆, 郑靖明, 王德禹, 等. 基于SYSNOISE软件的船舶振动声学数值计算[J]. 中国造船, 2002, 43(4): 32-38.  
Yang Deqing, Zheng Jingming, Wang Deyu, et al. Numerical Analysis of Vibro-Acoustic Characters of Ship with SYSNOISE Software[J]. Shipbuilding of China, 2002, 43(4): 32-38.
- [3] Zhang Junhong, Han Jun. CAE Process to Simulate and Optimize Engine Noise and Vibration[J]. Mechanical Systems and Signal Processing, 2006, 20(6): 1400-1409.
- [4] 周立廷, 李宏坤, 郭义杰. 齿轮箱结构噪声预测[J]. 噪声与振动控制, 2010, 30(4): 129-132.  
Zhou Liting, Li Hongkun, Guo Yijie. Prediction of Radiation Noise of Gearbox Using FEA-BEA Method[J]. Noise and Vibration Control, 2010, 30(4): 129-132.
- [5] 宋宝安. 柴油机低噪声结构动态设计方法的研究[D]. 天津: 天津大学, 2007.  
Song Baoan. Structure Dynamic Design Method Study on Low Noise Diesel Engine[D]. Tianjin: Tianjin University, 2007.
- [6] 杨诚, 周科, 陈旭. 发动机壳体辐射噪声预测[J]. 江苏大学学报: 自然科学版, 2010, 31(4): 393-396.  
Yang Cheng, Zhou Ke, Chen Xu. Prediction of Noise Radiated from Engine Shell[J]. Journal of Jiangsu University: Natural Science Edition, 2010, 31(4): 393-396.

(责任编辑: 邓光辉)